

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平5-241220

(43) 公開日 平成5年(1993)9月21日

(51) Int.Cl.⁵

G 0 2 F 3/00

識別記号

5 0 1

庁内整理番号

7246-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 4 (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願平4-75749

(22) 出願日 平成4年(1992)2月28日

(71) 出願人 000001214

国際電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号

(72) 発明者 宇高 勝之

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際
電信電話株式会社内

(72) 発明者 長尾 康之

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際
電信電話株式会社内

(72) 発明者 松島 裕一

東京都新宿区西新宿2丁目3番2号 国際
電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 大塚 学

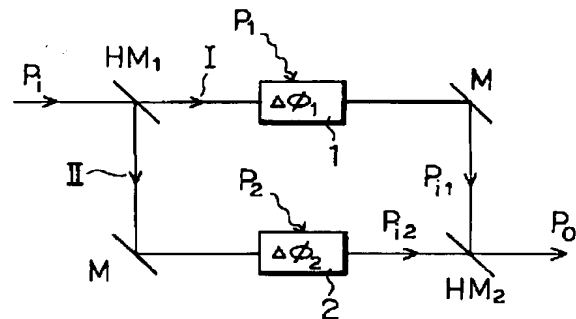
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光論理素子

(57) 【要約】

【目的】 光の高速性を活かしてXOR動作を行う光論理素子を提供する。

【構成】 マッハツェンダ干渉型光導波路の各分岐光導波路上に、光照射により屈折率が変化する位相変調素子をそれぞれ配置し、各位相変調素子の屈折率変化が零もしくは一定値と同じ場合と各々異なる場合で該干渉型導波路の光出力レベルが異なるようにすることにより、XORもしくはXNOR動作を超高速で行うことができるように構成されている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 入力光路が複数経路に分岐後、再度合波されて出力光路が形成されるマッハツェンダ干渉型光路と、各分岐光路に配置された照射光量に応じて屈折率が変化する位相変調素子とを具備し、該複数の位相変調素子への照射光量の組み合わせに対応させて合波後の出力光強度を制御することを特徴とする光論理素子。

【請求項2】 前記光論理素子の出力光路に、電流注入領域及び可飽和吸収領域を具備させたことを特徴とする請求項1に記載の光論理素子。

【請求項3】 前記位相変調素子の屈折率変化を光の直接照射により得ることを特徴とする請求項1又は2に記載の光論理素子。

【請求項4】 前記位相変調素子の屈折率変化を光の光電変換を通して電気信号により得ることを特徴とする請求項1又は2に記載の光論理素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、光交換、光情報処理の分野において、高速な光信号処理に不可欠となる光で光信号を制御する光論理素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 超広帯域で、超高速伝送が可能な光ファイバ通信を用いた動画像通信や映像分配と言った広帯域な新サービスの広範な展開が期待されている。この場合、これらの広帯域な信号が集中するノードにおいては超高速な信号処理が不可欠となる。この目的のため、一旦電気信号に変換し、LSI等の電子回路によって処理するよりも高速なスイッチング動作が期待され、また、並列処理により一層の処理時間の短縮化が可能と考えられる光信号のまま、もしくは光の特質を極力活かした処理を行う、いわゆる光交換、光信号処理方式が注目されている。

【0003】 光信号処理における重要な機能の一つとして、入力された光信号を識別して所望の経路へとスイッチングさせるための信号識別機能が挙げられる。通常デジタル系列からなる信号ではビットパターンにより信号認識表示が行われており、信号識別機能とはすなわちビットパターンマッチング動作を行うことといえる。ビットパターンマッチングとは、複数の入力信号セルの該当タイムスロットに割り当てられた各デジタル信号ビットが互いに一致するか不一致かを判定し、最終的に該複数のセルが互いに同一であるか否かを判別する機能を意味する。このような機能を実現するためには、該複数のビットが共に0もしくは1で互いに一致した場合とそうでない場合で異なる出力信号を出す論理動作として排他的論理和(XOR)もしくは排他的非論理和(XNOR)なる動作を行う光論理素子が必要となる。

【0004】 図9に従来技術によるXOR光論理素子を示す。100、100'はn-InP、p-InGaAs

sP、n-InPからなるフォトトランジスタ(HPT)、101、101'はn-InP、InGaAsP、p-InPからなるLEDである。入力光A及びBが各々同時に照射する2つのHPTの組み合わせのうち一方のHPTにはLEDが直列に接続されており、このような単位ユニットが2つ並列に電源に接続されている。一点鎖線で囲んだ単位セルの断面構造を図10に示す。102は半絶縁性InP、103はn-InP、104はp-InGaAsP、105はn-InP、106はInGaAsP、107はp-InP、108はp-InGaAsP、109はAu-Zn、110はAu-Sn、111はポリイミド、112はTi/Auで、InGaAsP層104、106は各々HPTのベース層、LEDの発光層に対応する。今、入力光A(又はB、以下括弧の内外が対応する)のみが図9のように照射された場合、HPT100(又は100')がオンになるため、それと並列に接続されているHPT100'(又は100)はオフとなり、従ってLED101(又は101')のみが発光する。他方、入力光A及びBが同時に照射された場合、LED101及び101'に接続していないHPTのみがオンになるため、その結果LED101及び101'は共に電流が流れず発光しない。入力光A及びBが共に無い場合にはどこにも電流が流れないため、発光もない。以上の各場合の動作から、HPTへの入力光A及びBとLEDからの出力光CとDの和の間にはちょうど排他的論理和(XOR)の関係があることがわかる。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】 このように、従来のXOR光論理素子は、光信号をフォトトランジスタにより電気信号に変換後さらに動作速度の遅い発光ダイオードを駆動して光出力とすることから動作速度をそれほど速くできないという欠点があり、また構造や作製プロセスが複雑であるなどの問題点があった。

【0006】 本発明は、光の高速性を活かしてXOR動作を行う光論理素子を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】 この目的を達成するために、本発明による光論理素子は、マッハツェンダ干渉型光導波路の各分岐光導波路上に、光照射により屈折率が変化する位相変調素子をそれぞれ配置し、各位相変調素子の屈折率変化が零もしくは一定値と同じ場合と各々異なる場合で該干渉型導波路の光出力レベルが異なるようにすることにより、XORもしくはXNOR動作を超高速度で行うことができるように構成されている。

【0008】 以下、図面を用いて本発明を詳細に説明する。

【0009】

【実施例1】 図1は本発明による光論理素子の基本動作を説明するための構成図であり、簡単のため空間伝搬の

3

例について述べる。左からの入射光 P_1 はハーフミラー HM_1 によりI及びIIの経路に分歧され、各経路はハーフミラー HM_2 により再び合波され P_0 として出力される。本光学系は、出力 P_0 が入射光 P_1 の各経路での位相変化に応じた成分の干渉の結果として出力される、即ちマッハツェンダ干渉型構成となっている。本発明の特徴は、該マッハツェンダ構成の各分歧光路に光照射により屈折率が変化する位相変調素子1及び2を具備したことにある。次に基本動作について述べる。一例として各位相変調素子への制御光 P_1 及び P_2 の強度が共に0の場合の各分歧光路I及びIIの光路長が相等しいとする。この時はハーフミラー HM_2 に入射する強度の等しい光 P_{11} 及び P_{12} の位相変化量 $\Delta\phi_1$ 及び $\Delta\phi_2$ はともに0、即ち等位相となるため P_0 なる光が出力される。こ*

4

*ここで各位相変調素子での位相変化量が π となるような各々の制御光量を P_1 および P_2 とし、位相変調素子1へ P_1 なる強度の光を入射したとすると、 P_{11} と P_{12} の位相差は π となるため互いに打ち消しあって出力光 P_0 は0となる。位相変調素子2のみに P_2 なる制御光を照射した場合も同様である。次に、兩位相変調素子1及び2に各々 P_1 及び P_2 なる制御光を照射した場合には、 P_{11} 及び P_{12} は共に π だけ位相が変化するため結局同位相となり P_0 なる出力が得られる。このような動作を、制御光の組み合わせに応じて真理値表の形で示したものが表1である。

【0010】

【表1】

P_1	$\Delta\phi_1$	P_2	$\Delta\phi_2$	出力	
				対称型	非対称型
0	0	0	0	P_0	0
P_1	π	0	0	0	P_0
0	0	P_2	π	0	P_0
P_1	π	P_2	π	P_0	0

【0011】以上の例は、各分歧光路長が相等しい対称型について示した。これより、本発明による光論理素子は排他的論理和(XOR)として動作することがわかる。他方、各分歧光路I及びIIの光路長を、制御光が無いときにその位相差が π となるように選んだ場合は、表1の非対称型に示したように排他的非論理和(XNOR)として動作させることができる。

【0012】次に、前述の基本構成をより実用的な半導体光導波路に適用した実施例を以下に説明する。

【0013】

【実施例2】図1に示した第1の実施例をモノリシックなマッハツェンダ干渉型導波路構造で実現した第2の実施例を図2(a)に示す。本実施例では、InGaAsP系半導体を例に示している。3はInP基板、4及び4'はInGaAsP/InPから成る多重量子井戸構造(MQW) (禁制帯幅相当波長 $\lambda_g = 1.55 \mu m$)で、5はInGaAsP導波路層($\lambda_g = 1.3 \mu m$)、6はInPクラッド層、7はInP埋め込み層で、これらの構造はMO-CVD法もしくはMBE法などの成長方法で作製される。導波路は埋め込み構造による3次元導波路化され、中央で2つの導波路I及びIIに分歧されたのち合波するマッハツェンダ干渉型を構成しており、図2(b)にA-A'断面図を示したように、各分歧導波路にMQW4及び4'による位相変調素子が具備されている。

【0014】次に動作について説明する。MQWは光非

線形性が大きいことで知られており、該MQW4及び4'が光照射により屈折率が変化する位相変調素子として機能する。制御光 P_1 及び P_2 は、各々MQW4及び4'に照射される。実施例では上方から照射しているが、基板側もしくは別の導波路を介して横から照射してもかまわない。信号入力光 P_1 は左から入射し、右の端面から P_0 として出射される。今、分歧導波路I及びIIの長さが相等しい対称型とすると、制御光 P_1 及び P_2 が共に無いときは各分歧導波路での位相変化量は等しいので、合波前の分歧光成分 P_{11} 及び P_{12} は等位相となり、信号光は P_0 として出力される。次に、 P_1 もしくは P_2 のどちらか一方が、 π だけの位相変化を与える強度でMQWに照射されたとする。その結果、 P_{11} と P_{12} の位相は π だけ異なるため打ち消しあって P_0 は出力されない。さらに、 P_1 と P_2 が同時に照射される場合は、 P_{11} と P_{12} は各々 π だけ位相が変化しても、やはり等位相であるため、打ち消しあうことなく P_0 として出力される。以上の動作より、制御光 P_1 、 P_2 と出力 P_0 の論理関係は、実施例1と同じ表1の対称型に示した通りXNORになる。

【0015】ここで、上述のMQWで π の位相変化 $\Delta\phi$ を実現するのに必要な制御光量 $P\pi$ を算出してみる。

【数1】

$$\Delta\phi = 2\pi\Delta n_{\pi}L/\lambda = \pi$$

より所望の屈折率変化量は

【数2】

5

$$\Delta n_{\pi} = \lambda / 2L \sim 0.008$$

となる。但し、 L はMQWの長さ、 λ は波長であり、 $L = 100 \mu\text{m}$ 、 $\lambda = 1.55 \mu\text{m}$ とした。MQWの非線形定数 n_2 ($n = n_0 + n_2 \cdot I / I_c$; 照射光強度)は $10^{-5} \sim 10^{-4} \text{ cm}^2 / \text{W}$ と大きいことが報告されており、仮に $n_2 = 10^{-4} \text{ cm}^2 / \text{W}$ とすると、所望の照射光強度は

【数3】

$$I = \Delta n_{\pi} / n_2 = 80 \text{ W} / \text{cm}^2$$

となる。これは、MQWの寸法を鑑みた照射領域を $100 \times 10 \mu\text{m}$ とすると、 P_{π} として 0.8 mW となり、余裕を見ても数mWもあれば十分であることがわかる。

【0016】上述の実施例では分岐導波路I及びIIの長さが等しい対称型について示したが、予め一方の分岐導波路に光路長を半波長、即ち π の位相差を設けた非対称型でも同様の論理動作を得ることができる。この場合は、表1に示したようにXORの論理動作となる。該半波長の光路長差を得る方法として、図3に示したように導波路長を変えること、導波路幅を変えて実効屈折率を

変化させること、電流注入もしくは電圧印加により導波路の屈折率を変えることなどの方法が考えられる。

【0017】上述の例では位相変調素子を別々の分岐導波路に具備した例について述べたが、全く同様の動作は2つの位相変調素子を一方の分岐導波路のみに配置しても実現される。その実施例を図4に示す。位相変調素子の配置以外は、具体的な構成は図2と同じである。

【0018】

【実施例3】以上の実施例は直接位相変調素子に光を照*

$$P_0 = P_1 / 4 \cdot | \exp(j \Delta \phi_1) + \exp(j \Delta \phi_2) |^2 \\ = P_1 \cdot \cos^2((\Delta \phi_1 - \Delta \phi_2) / 2)$$

ここで、 $\Delta \phi_1 = \Delta \phi_2 = 0$ のとき $P_0 = P_1$ 、 $\Delta \phi_1 = \pi/2$ (0)、 $\Delta \phi_2 = 0$ ($-\pi/2$)のとき $P_0 = P_1 / 2$ 、 $\Delta \phi_1 = \pi/2$ 、 $\Delta \phi_2 = -\pi/2$ のとき $P_0 = 0$ となることがわかる。他方、非対称型は一方の位*

6

*射する例について述べたが、図5は、間接的に光を照射して位相変調素子の屈折率を変化させる実施例を示している。ここに、8及び8'はフォトトランジスタ(HPT)などから成る光電変換部で、9及び9'は光電変換素子へのバイアス給電用電極である。位相変調素子ではなく、該光電変換部8、8'に光を照射することにより生成された電流が、これと接続された電極10及び10'を介して、その下部に設けられた導波路層に注入されることにより屈折率が増加し、所望の位相変化を得ることができる。本実施例の特徴は、光照射部と位相変調素子部を分離することが可能となるため、素子内の構成の自由度が増すことにある。尚、電流注入に限らず、電圧印加でも同様の効果が得られる。

【0019】

【実施例4】これまでは、各分岐導波路を伝播した導波光の位相が位相変調素子の位相変化量を0及び π とし、各分岐導波路を伝播した導波光が合波後に入射光 P_1 と同程度の強度 P_0 となるか、それともほぼ完全に打ち消し合って0になるかの理想的な動作状態について述べた。これは2つの動作状態で得られる光強度差が最大となり、識別しやすいためであるが、出力光の識別レベルを高精度に制御することができれば、中間の光出力が得られる動作を利用して所望の機能を達成することができる。

【0020】今、各々の位相変調素子の位相変化量 $\Delta \phi$ が $\pi/2$ 及び $-\pi/2$ の場合について考える。対称型マッハツェンダ干渉型導波路の出力は、損失がないと近似すると次式で与えられる。

【0021】

【表2】

*相変化量に π を加えれば良く、これより表2に示したような入出力関係が得られる。

P_1	$\Delta \phi_1$	P_2	$\Delta \phi_2$	出力	
				対称型	非対称型
0	0	0	0	P_0	0
P_1	$\pi/2$	0	0	$P_0 / 2$	$P_0 / 2$
0	0	P_2	$-\pi/2$	$P_0 / 2$	$P_0 / 2$
P_1	$\pi/2$	P_2	$-\pi/2$	0	P_0

【0022】今、光出力の識別レベル P_1 を $P_0 / 2 < P_1 < P_0$ となるように設定すると、対称型はNOR、非対称型はAND動作、他方、 $0 < P_1 < P_0 / 2$ とすると対称型はNAND、非対称型はOR動作が得られることがわかる。尚、光識別器として、例えば図6(a)に示したように可飽和吸収領域を有する光非線形素子な

どを用いることができる。11及び12は入力光の波長より禁制帯幅相当波長が大きいInGaAsPからなる領域で、前者は電流注入により利得を有する増幅領域として、後者は可飽和吸収領域として機能する。増幅領域11の注入電流 I_a を I_{a1} 、 I_{a2} ($< I_{a1}$)のように調整すると、前者の方が増幅利得が大きいため、より小

い入力光 $P_{11}=P_{12}(<P_{12})$ で可飽和吸収領域12がスイッチオンして出力光 P_0 が得られる。すなわち、増幅領域11への注入電流 I_1 により、図6(b)に示した光識別器への実効的な入射強度で換算したスイッチングレベル P_1 を P_{11} 、 P_{12} のように任意の値に設定することができる。なお、13は実施例2で詳しく述べた光路長を調整するための位相調整器である。

【0023】

【実施例5】これまでに述べた実施例では、制御光が2つの場合であった。しかしながら、制御光の数を3以上にしても、位相変調素子の配置の工夫と上述の光識別器を用いることにより複数入力光の論理動作を行わせることができる。図7及び図8に制御光の数が各々3及び4の場合の実施例について示す。制御光の数に応じて分岐導波路の数も変わっており、各分岐導波路に4、4'、4''および4'''の如く位相変調素子を配置してある。13は光路長調整のための位相調整器、そして、11は増幅領域、12は可飽和吸収領域で、光識別器を構成している。図7及び図8の各制御光と出力の関係を、表*

*3及び表4に各々示す。

【0024】

【表3】

P_1	P_2	P_3	出力	
			対称型	非対称型
0	0	0	P_{11}	0
0	P_2	0	$P_{11}/2$	$P_{11}/2$
0	P_2	P_3	0	P_0
P_1	0	0	0	P_0
P_1	P_2	0	$P_{11}/2$	$P_{11}/2$
P_1	P_2	P_3	P_{11}	0

【0025】

【表4】

P_1	P_2	P_3	P_4	中間出力	出力
0	0	0	0	P_{11}	P_0
P_1	0	0	0	$P_{11}/2$	0
P_1	P_2	0	0	0	0
P_1	0	P_3	0	0	0
P_1	P_2	P_3	0	$P_{11}/2$	0
P_1	P_2	P_3	P_4	P_{11}	P_0

【0026】ここで光識別器の識別レベル P_1 を、表3の対称型及び表4の場合は $P_{11}/2 < P_1 < P_{11}$ 、表3の非対称型については $0 < P_1 < P_{11}/2$ とすると、すべての制御光入力が0もしくは照射と揃った場合にのみ出力光が得られる、いわゆるビットパターンマッチング機能が実現されることがわかる。尚、本実施例では、信号光源として集積化した $\lambda/4$ シフトDFBレーザ17を用いた構造について示した。図8(b)は、図8(a)の矢印C方向の断面図で、14は $\lambda/4$ シフト回折格子、15はInGaAsP活性層、16は亜鉛拡散領域で、電流 I_s を注入することによりコヒーレンスの良い単一波長で発振し、その出力 P_1 は本発明による光論理素子に低損失導波路5を介して導かれる。

【0027】上述の実施例では、InGaAsP系について説明したが、本発明の動作原理に鑑みて、導波路としてAlGaAs系などの他の半導体材料やSiO₂などの誘電体材料、さらに、位相変調素子として他の半導体ドーパガラス等の光非線形材料など作製プロセスの許す種々の材料の組み合わせに適用することができる。

【0028】

【発明の効果】本発明により、光の干渉を利用した超高

速な光論理素子を実現することができ、また、可飽和吸収体を用いた光識別器と併用することによりXOR、N XORのみならずAND、NAND、OR、NORなどの各種の光論理動作や、複数ビットのマッチング動作を行わせることができる。また、基板上に複数の素子を集積化することにより多ビットの並列光論理動作が可能であり、その効果は極めて大きい。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のマッハツェンダ干渉器に位相変調素子を組み込んだ光論理素子を空間伝搬の光学系に適用した実施例を示す斜視図である。

【図2】本発明のマッハツェンダ干渉器に位相変調素子を組み込んだ光論理素子を導波路構成に適用しかつ各分岐導波路に1つずつ位相変調素子を配置した実施例を示す斜視図及び断面図である。

【図3】本発明において分岐導波路長を半波長異ならしめた非対称型の実施例を示す斜視図である。

【図4】本発明において分岐導波路の一方に2つの位相変調器を配置した実施例を示す斜視図である。

【図5】本発明において位相変調素子の位相変化を光電変換後電流注入で行った実施例を示す斜視図である。

9

10

【図6】本発明において可変光レベル識別器を具備した実施例を示す斜視図及びその可変光レベル識別器の動作説明用特性図である。

【図7】本発明において制御光の数を3としたときの実施例を示す斜視図である。

【図8】本発明において制御光の数を4としたときの実施例を示す斜視図及び一部断面図である。

【図9】従来技術による光論理素子の回路構成例図である。

【図10】従来技術による光論理素子の構造例を示す断面図である。

【符号の説明】

- 1 位相変調素子
- 2 位相変調素子
- 3 InP基板

4, 4' 多重量子井戸構造 (MQW)

5 InGaAsP導波路層

6 InPクラッド層

7 InP埋込み層

8, 8' 光電変換部

9, 9' バイアス給電用電極

10, 10' 電極

11 増幅領域

12 可飽和吸収領域

13 位相調整器

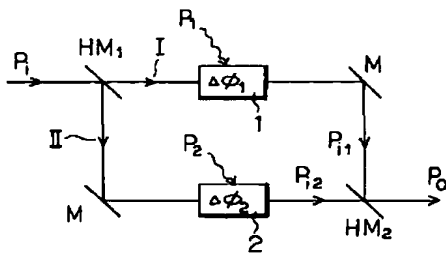
14 $\lambda/4$ シフト回折格子

15 InGaAsP活性層

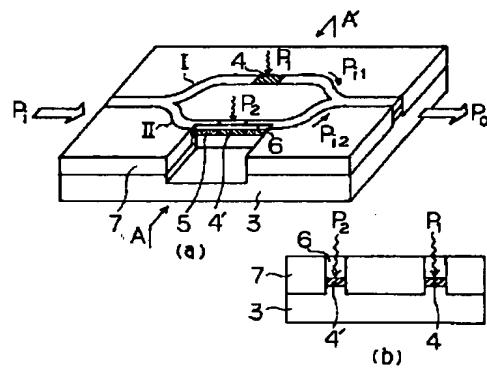
16 亜鉛拡散領域

17 $\lambda/4$ シフトDFBレーザ

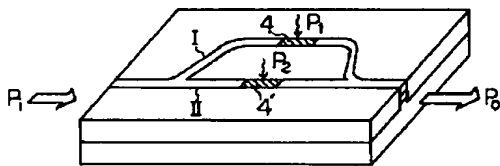
【図1】



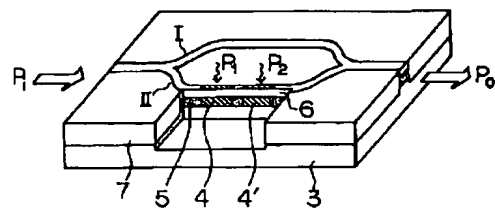
【図2】



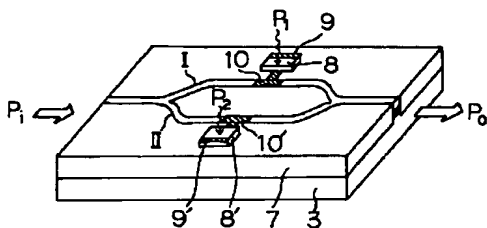
【図3】



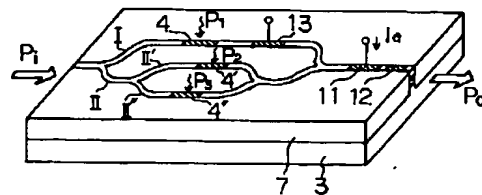
【図4】



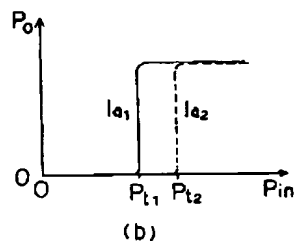
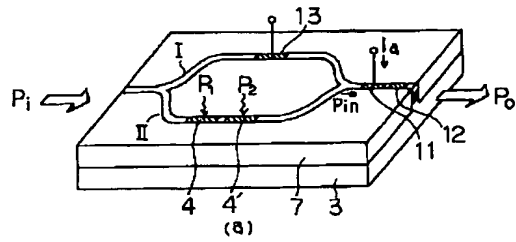
【図5】



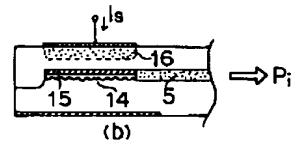
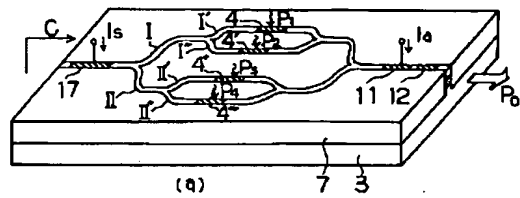
【図7】



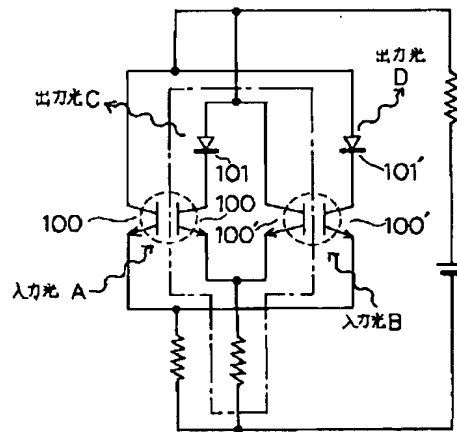
【図6】



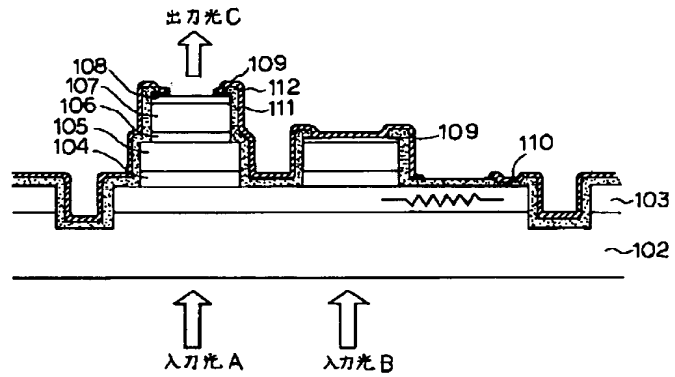
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 堺 和夫
東京都新宿区西新宿二丁目3番2号 国際
電信電話株式会社内